

Marcel Minnaert: Grondlegger van de Natuurkunde van 't Vrije Veld

L. Molenaar

Voor mijn biografie van Marcel Minnaert, *De Rok van het Universum*, heb ik me intensief beziggehouden met Minnaerts jeugd in Vlaanderen; ik geef een beeld van zijn bliksemcarrière als vermaard astrofysicus en ik besteed aandacht aan zijn uitzonderlijke maatschappelijk engagement (dia 2, citaat gedicht Lucebert).

Vandaag beperk ik me, op uw verzoek, tot twee thema's: Minnaerts inzet voor de natuurkundedidactiek, en de manier waarop zijn didactiek is verbonden met, of liever, uitmondt in *De Natuurkunde van 't Vrije Veld*.

1. De geboren didacticus, de levenslange leraar

Marcel Minnaert kreeg de belangstelling voor het onderwijs met de paplepel binnen. Zijn vader Jozef, net als zijn moeder opleider van onderwijzers aan de Normaalschool (dia 3), de Vlaamse pedagogische academie, had veel kritiek op de geheugendril, op de prestatiegerichtheid, op de geringe aandacht voor de vorming van de persoonlijkheid en de opvoeding tot zelfwerkzaamheid. Jozef Minnaert, die zou overlijden toen Marcel tien jaar was (dia 4), had veel van die gebreken opgesomd in zijn *Dagboeken*. Marcells peetoom Gillis Desideer Minnaert, onderwijsbestuurder, bood in zijn boek *Geesteswereld en schoonheidszin* de Vlamingen een algemene ontwikkeling, een *Leekenspieghel*. Hij zei het Erasmus na dat opvoeding de mens moest vormen: “Door onkunde kan men de kostbaarste stof bederven, terwijl uit een waardeloze ertsklomp door smelten, hameren en drijven een onsterfelijk meesterstuk wordt gewrocht.” Lang stond Gillis stil bij de rijkdom van vorm en kleur in de natuur: “Beklim een heuvel of duintop, vanwaar het schone natuurtafereel zich voor uw blik ontrolt.” Hij schreef over bloemen, bomen, vogels, vlinders en planten als een Jacques P. Thijsse *avant la lettre*, maar ook over bergen en rotsen. Die geesteshouding heeft zijn petekind Marcel overgenomen: hij hoefde het “Plan van de Schepper” van zijn gelovige oom slechts te veranderen in “de Wetten van het Heelal”. Het encyclopedische zat Marcel Minnaert in de genen.

In 1915 – honderd jaar geleden, midden in de Eerste Wereldoorlog – ging Minnaert naar het Nederlandse Leiden om zich in het Mekka van de fysica te bekwamen voor een leerstoel aan

de Nederlandstalige *Vlaamse Hogeschool*. Met behulp van de Duitsers wilde hij die in Gent met zijn activisten van *Jong Vlaanderen* ontrukken aan de klauwen van de Franstalige staat België (dia 6, cartoon Edzard Domela). De oudere professoren durfden en wilden dat niet, dan moesten jongeren zoals hij, 22 jaar oud, dat titanenwerk maar op zich nemen (dia 7). Niettemin werd hij gastvrij opgenomen in Leidse kringen rond de fysicus Paul Ehrenfest en het studentendispuut *Christiaan Huygens*. Hij observeerde docenten zoals Lorentz en Ehrenfest: “De werkelijk imponerende figuur was toch Ehrenfest. (...) Nooit heb ik meer iemand ontmoet die de theoretische natuurkunde zo helder kon uitleggen. En merkt wel: deze helderheid werd bereikt, niet door een kunstmatige vereenvoudiging, of door het weglaten van alles wat dieper doordénken vergde; maar door het volkomen dóórlichten van het probleem.” Hij ontmoette diens vrouw, de wiskundige Tatyana Ehrenfest-Afanasjeva: “Mevrouw Ehrenfest wist met vrouwelijke intuïtie de studenten te ontdekken die didactische belangstelling hadden, hetzij onder de leden van *Christiaan Huygens* hetzij onder de leerlingen van haar man. Weldra wist zij een groepje te vormen dat geregeld bij haar aan huis kwam voor besprekingen over het onderwijs van de meetkunde. Zo bracht mevrouw Ehrenfest ons tot het juiste inzicht in de aard van de axioma’s, liet zij ons zoeken naar een passend axiomatisch stelsel, en overtuigde ons ervan dat de axioma's *aan het eind* van de cursus en niet aan het begin moesten komen. (...) Ik geloof dat we toen begrepen dat een oorspronkelijke gedachte op didactisch gebied even belangrijk kan zijn als een wetenschappelijke ontdekking. (...) Door haar, en ook door haar man, ontwaakte in Nederland de belangstelling voor onderwijs en didactiek. Beiden waren ze vol bewondering voor Jan Ligthart, de geniale schoolmeester, die in de arme wijken van Den Haag de grondslag had gelegd voor het moderne onderwijs.”

Toen hij in 1916 in Gent inderdaad natuurkunde ging doceren bestond daar geen practicum; en dat bestond evenmin in het Vlaamse lager en middelbaar onderwijs. Minnaert raakte overtuigd van de noodzaak om op alle niveaus van het natuurkundeonderwijs het experiment een belangrijker rol te laten spelen, en de zelfwerkzaamheid te vergroten. Op zijn faculteit startte hij een practicum en een leesbibliotheek, en begon hij met het vrijwillig hospiteren van studenten op Vlaamse middelbare scholen. Minnaert had als kind de bloempjes leren determineren, had zich uitgeleefd op zijn dozen met chemische materialen, had de samenhang in de aard van het landschap leren begrijpen, had bij dag en bij nacht op de hemel gelet en was doorkneed in proeven met elektromagnetische en optische hulpmiddelen. Als er iemand optimaal was toegerust om een pionier in de natuurkundendidactiek te worden, dan was het Minnaert. Maar op 11 november 1918 was het in België Bijltjesdag. Hun huis aan de Gentse Parklaan werd geplunderd, en hij en zijn moeder vluchtten naar het gastvrije Nederland en vestigden zich tijdelijk in Soest.

Hij kreeg een dagtaak aan het bedrijfsklaar maken van de nieuwe spectrofotometer van Julius op de Utrechtse Sterrenwacht en het organiseren van eclipsexpedities (dia 9, Sumatra). Maar hij ging vrijwillig door met zijn natuurkunde voor de basisschool. Hij had genoeg aan enkele uren slaap. Uit de Verenigde Staten kwamen indertijd impulsen om het onderwijs te baseren op *praktische scholing* wat wel paste bij de pioniersgeest in dat land en de sociaal bewogen Kerschensteiner pleitte in Duitsland voor een *Arbeitschule*. Auteurs als de Zweedse Ellen Key benadrukten de rechten van het kind en vonden dat opvoeders meer moesten begeleiden. In september 1923 schreef Minnaert zijn Gentse collega van de *Vlaamse Hogeschool*, de bioloog Cesar De Bruyker dat hij een boek had voltooid: “De hele stapel paperrassen hedenoch-

tend naar de uitgever verzonden (Noordhoff); de 136 zelfgemaakte tekeningen en foto's hebben heel wat werk gekost; maar nu is dat alles achter de rug." Hij had het eerste boek in het Nederlandse taalgebied over *leerlingenproeven* geschreven, *Natuurkunde in leerlingenproeven* (1924). Het begint zo: "U vooral wil ik hier dank zeggen, mijne vrienden te Soest, die jaren lang op onze Zondagsche bijeenkomsten de wording van dit werkje hebt meegemaakt, en mij zoo trouw geholpen hebt om de moeilijkheden te ontdekken en te overwinnen; gij hebt tijd en arbeid gegeven; met roerende opoffering kocht gij van eigen penningen de noodige hulpmiddelen; in uwe vriendelijke, eenvoudige Engendaalschool is thans aangetoond hoe men met geringe middelen toch een voortreffelijk onderwijs der natuurkunde kan verwezenlijken." Oud-leerlingen van 1920 zoals Hans Littooi en Nanda Ortt vertelden mij nog hoe Minnaert, gewapend met draadjes en batterijen, er natuurkundeles gaf: hoe hij de wip op het schoolplein benutte voor de mechanica en hoe hij de opdracht gaf 'zoveel mogelijk draden door het oog van een naald te steken'. De klaslokalen waren er ingericht voor twaalf leerlingen. Minnaert: "De klas, die ik mij aldus werkend voorstel, bestaat uit hoogstens 20 tot 25 leerlingen. Met een grooter aantal kan men geen goede uitslagen verkrijgen, – voor de natuurkunde evenmin als voor de andere vakken..." In het boekje staat zijn *credo*: "Er was eens een tijd, toen men aan de kinderen de natuur leerde kennen uit tekeningetjes op het bord of in een boek: *dat was de natuurkunde met krijt en spons*. Daarna kwam een tijdperk, waarin als voornaamste eigenschap van goed onderwijs de aanschouwelijkheid werd geprezen. *De leeraar voert voor de klas een proef uit*, en alle kinderen mogen die bewonderen, zoo goed en zo kwaad als dat van verren mogelijk is. (...) Sedert Ligthart, Kerschensteiner, Montessori, is de leuze van de school geworden: zelfwerkzaamheid!" Een ander citaat: "Het kind moet zelf rechtstreeks in aanraking komen met de natuur; het wil niet alleen de dingen zien, goed zien, maar het wil ze voelen, ruiken, hooren van nabij; 'zijn' proef moet het worden! Dan pas wordt de spierzin geoefend, het belangrijkste onzer zintuigen, en in duizenden nieuwe ervaringen leeren wij hoe onze bewegingen inwerken op de dingen om ons heen. Daarom moet iedere leerling zijn eigen toestelletje hebben, waar hij aan bouwen en wijzigen kan volgens het spel zijner verbeelding, en den eisch van zijn gezond verstand; een toestel waar hij metingen mee kan uitvoeren, opdat de cijfers voor hem leven zouden krijgen. Zoo kan iedere les een heerlijk uur worden van ontdekkingsvreugde." Hij wees op ervaringen in het buitenland met 'gelijktijdige leerlingenproeven': "Zoo groeit vanzelf de lust tot samenwerking dat edel, echt menschelijk gevoel, van zulke onschatbare waarde voor het leven en de maatschappij." Minnaert liet in zijn boekje zien hoe hardnekkige verzamel- en handenarbeid met de hulp van lokale timmerwerklieden en enkele handige ouders een waar instrumentarium van natuurkundige materialen kan opleveren (dia 11). Het sparen van metalen plaatjes, brillenglazen, magneetjes, spijkers, touw, spiraalveren, eindjes kaars, spiegeltjes, sigarendoosjes, naalden, kartons en kurken bracht een wonder teweeg: "Al die waardeloze dingen veranderden in allernuttigste hulpmiddelen zodra ze hun plaats in de kast hebben gevonden." Uit zijn proeven blijkt dat er ook reageerbuisen, beerglazen, glasbuis, kolfjes en rubberen slangen nodig waren. Gratis waren die niet, maar de kosten waren gering.

Een analyse van zijn publicatie leert dat Minnaert *vier uitgangspunten* voor zijn didactiek hanteerde.

In de *eerste* plaats is vakonderwijs alleen zinvol als het wordt verbonden met het echte leven. *De buitenschoolse ervaringen zijn zowel uitgangspunt als eindpunt*: "De ontwikkeling van de

natuurkundige begrippen bij het kind grijpt plaats langs dezelfde wegen die de mensheid heeft gevolgd in de loop der eeuwen. Wij moeten de overheid ervan overtuigen, dat natuurkunde niet te onderwijzen is met boeken. Als wij over de levende natuur willen spreken op de lagere school, moeten wij onderdelen van die natuur in de klas hebben: planten, een aquarium, enz. Evenzo moet de natuurkundige de voornaamste fysische verschijnselen in de klas kunnen vertonen.”

In de *tweede* plaats droeg hij, onkundig van Piaget, ontwikkelingspsychologische argumenten aan, die pleiten voor vroegtijdig natuuronderwijs. Het kind is bezig met het verzamelen van een schat aan herinneringsmateriaal en kan daaruit later putten. Het jonge kind houdt ervan proeven te nemen: “Ik heb een jongetje van zes jaar een uur lang zien onderzoeken wat de kleinste helling was die men aan een karton geven moest om er een potlood af te doen rollen. Twee kleine meisjes speelden even geduldig op een balkon met een ineengefrommelde krant, gehangen aan het uiteinde van een lang touw, en onderzochten daarbij de gedempte slingeren valbewegingen. Zouden de meeste kinderspelen wel iets anders zijn dan uitmuntende reeksen natuurkundige proeven?”

In de *derde* plaats introduceerde hij nieuwe onderwijsvormen uit Engeland, Duitsland en Amerika zoals de *gelijktijdige leerlingenproef*. De kinderen voerden die twee aan twee uit met hun eigen toestel. Kropotkins kritiek op het sociaaldarwinisme zweefde Minnaert voor de geest: het ging niet om concurrentie maar om coöperatie en *wederkerig hulpbetoon*. Politiek ideaal en didactiek vielen samen: “Zo groeit vanzelf de lust tot samenwerking dat edel, echt menselijk gevoel, van zulke onschatbare waarde voor het leven en de maatschappij.” De klas wordt een eenheid, die samen zoekt, werkt en besluit! Gelukkige vondsten van de enkele leerling komen aan alle anderen ten goede, evengoed als begane vergissingen: “De vergelijking der uitkomsten geeft vertrouwen en brengt het begrip en de schatting der waarnemingsfouten bij; het maken van klassengemiddelden verbetert aanzienlijk de uitkomsten, en geeft ieder het besef zijner verantwoordelijkheid. Tenslotte trekt de leraar uit het gezamenlijke werk de besluiten waar het om te doen is.”

In de *vierde* plaats verbond hij de cognitieve vorming van de leerlingen met de affectieve en de motorische vorming. De natuurkundeles betekende meer dan het formuleren van een wetmatigheid. Het vak speelde zich niet louter in de hersenen af, maar ook in het samenwerken, het zagen van hout, het inrichten van een proef en het praten over de waarnemingen. Minnaert introduceerde de *huisproef*: “Waarom zou men niet nu en dan heuse proeven thuis of waarnemingen in de vrije natuur laten uitvoeren? Er zijn proeven genoeg waarvoor men de hulpmiddelen in ieder huisgezin aantreft; en ik zie er ook niet tegen op desnoods een duurder instrument (thermometer) aan de kinderen voor een dag te lenen. De ondervinding heeft mij bewezen dat zulke oefeningen zeer in de smaak vallen.”

Roldoorbrekend waren ten slotte zijn foto's van experimenterende *meisjes*: een meisje hanteerde de kleurenschijf! Drie van de vier foto's in het boekje toonden meisjes aan het werk. Twintig jaar later verschenen in Nederland boeken met titels zoals *Jongens en Natuurkunde*; tachtig jaar later heette een Vlaams tv-programma *Jongens en Wetenschap*.

Na de Eerste Wereldoorlog kreeg de beweging voor de *vernieuwing van de opvoeding* een impuls. Er kwam een zwaar accent te liggen op samenwerking en wederzijdse hulp van de kinderen, op het *streven naar vrede* opdat de mensheid zich niet opnieuw in de afgrond van een oorlog zou storten. Dat kwam tot uitdrukking in termen zoals *Education in the New Era*

en *Reformpädagogik*. De oprichting van de *New Education Fellowship* (NEF) betekende een doorbraak. Anders dan de internationale organisaties van wetenschapsmensen die de Duitsers uitsloten, beschikte deze onderwijsinternationale over een Franse, een Engelse én een Duitse afdeling. De deelname aan haar congressen groeide van 500 in 1925 te Heidelberg tot 1200 in Locarno twee jaar later. Deze NEF wilde het zelfstandig denken stimuleren “in plaats zich te laten meeslepen door massa-emoties”. De wereldvrede kon behouden blijven als de opvoeding in het teken zou komen te staan van samenwerking tussen de volkeren. Minnaert ging deel uitmaken van de beweging voor vernieuwing van het Nederlandse onderwijs: *De Nieuwe Opvoeding*. Op de eerste jaarvergadering van november 1927 was behalve Kees Boeke ook de Duitse Elisabeth Rotten aanwezig, lid van de Internationale Raad van *The New Education Fellowship*. Zij bezocht “de opleidingscursus van de vereniging waar zij ondermeer lessen bijwoonde van dr M.G.J. Minnaert die in het teken stonden van ‘Natuurkunde en zelfwerkzaamheid door leerlingen’.” Veel prominente voorlieden van deze onderwijsbeweging zoals Kees Boeke, Cor Bruijn, Felix Ortt, Lodewijk van Mierop, Paul Ehrenfest, Tatyana Afanasjeva en Marcel Minnaert hadden hun levenswijze gemeen: vegetarisme, geheelonthouding, niet-roken, rein leven en pacifisme. Van de twaalf Nederlandse NEF-scholen, waarvan de Engendaalschool in Soest ‘tolstoiaans’ was, waren er negen Montessori. Pedagogische kenmerken waren de vrijheid van beweging van het kind, de ‘leider als helper’, zelfontworpen ‘leermiddelen’, het inspelen op de ‘stadia van ontwikkeling’, de tijdboekhouding en de schoolwandeling. Op Boeke’s *De Werkplaats* in Bilthoven heetten de leerlingen ‘werkers’ en de leerkrachten ‘medewerkers’. Veel onderwijzers werkten daar onbezoldigd. De kinderen kregen alle aandacht en dat sprak ouders aan. Soms verhuisden mensen om hun kinderen op deze scholen te doen, vaak kwamen de kinderen van ver.

Voor deze didactische uitgangspunten heeft Minnaert (dia 13, 1967) zich volledig ingezet. In het natuurkundeonderwijs op HBS en gymnasium domineerde destijds de deductieve uiteenzetting van de leerstof, gelardeerd met een demonstratieproef door de amanuensis. Op de lagere scholen bleef actueel hoe de vrees van de onderwijzers voor natuurkunde weg te nemen. Juist daarom achtte Minnaert *de opleidingen* tot onderwijzer en leraar van het grootste gewicht. Die moesten de hefbomen worden voor de omwenteling van het traditionele natuurkundeonderwijs. In die opvatting stond Minnaert niet alléén; vooraanstaande fysici, chemici en astronomen zoals Ehrenfest, Kohnstamm, Pannekoek, Kruyt, Zernike, Coster en Fokker pleiten voor een grotere rol van het experiment en voor meer zelfwerkzaamheid. In de jaren twintig zette ook een tegenóvergesteld streven in. Een groep leraren onder aanvoering van de wiskundigen Dijksterhuis en Beth maakte zich sterk voor een deductief opgezet middelbaar onderwijs in de wis- en natuurkunde, waarbij elke bewering zonder beroep op aanschouwelijkheid uit algemene regels kan worden afgeleid. Dit streven bleek in het Interbellum een grote meerderheid van de natuurkundeleraren het meest aan te spreken.

Eind jaren twintig nam Minnaert in Utrecht de onbezoldigde colleges ‘didactiek en methodiek van de natuurkunde’ over van de thermodynamicus-pedagoog Kohnstamm. Vóór Kohnstamm en Minnaert had geen enkele universitaire docent of instantie de moeite genomen aanstaande leraren een speciale opleiding te geven! Er bleek veel belangstelling bij de studenten voor die facultatieve colleges. Volgens een dictaat (1937-38) van student U. Keller begon Minnaert zijn college met de post-Dijksterhuisiaanse stelling: “Leraren vormen een conservatieve massa, die de ontwikkeling van het onderwijs tegengaat.” Naast het praktische nut van het vak in

relatie tot de techniek en de natuurkundige verschijnselen in de vrije natuur formuleerde hij indirecte doelen. Hij stelde het overdragen van attitudes en normen mede centraal zoals ‘de waarde van de waarheid’, ‘het vertrouwen in de rede’, ‘de eerbied voor de causaliteit in de natuur’, ‘de eerbied voor de arbeid’, ‘verantwoordelijkheidsgevoel bij leerlingenproeven’, ‘handigheid in het omgaan met materialen’ en ‘schoonheidsgevoel’. Het leeuwendeel van zijn college bestond uit praktijksituaties: het kunnen demonstreren, het leiden van leerlingenpractica, het begeleiden van didactisch voordelige werkvormen en het analyseren en structureren van een les. Hij pleitte, nog steeds volgens dat dictaat, voor proefnemingen in de vorm van ‘repetities’ en voor ‘huisproeven’ in plaats van huiswerk. Hij ging voor in het doen van experimenten in de vrije natuur. Hij benadrukte kwalitatieve *Denkaufgaben*, en de ‘zin voor de orde van grootte’ bij berekeningen. Toen Minnaert in 1937 hoogleraar in de sterrenkunde werd, verschoof zijn bemoeyenis met de didactiek naar de realisatie van een universitaire leergang voor leraren. Tijdens Ornsteins rectoraat (1931-32) was op aandringen van Minnaert “een samenwerkingsverband ontstaan tussen de faculteit van de letteren en wijsbegeerte en die der wis- en natuurkunde, om te onderzoeken of een speciale opleiding tot leraar in het leven geroepen kon worden”. Eind jaren dertig functioneerde in Utrecht daardoor een opleiding ‘didactiek voor leraars’, die bestond uit een college didactiek en methodiek van het gekozen vak plus een college pedagogiek. En ook drie maanden hospiteren voor twee schooltijden per week en het leiden van een practicum.

In de jaren dertig verviel Minnaert niet in de fout van wat men in Vlaanderen ‘de tweede collaboratie’ met de Duitsers noemt. Hij was een overtuigd antifascist, en getuigde daarvan door in 1936 bij de begrafenis van de Vlaamse dichter Rene De Clercq in Lage Vuursche een gebalde vuist te heffen als protest tegen het pro-Duitse optreden van zijn vroegere strijdmakkers. Dat kwam hem trouwens op twee jaar gijzeling te staan in Sint-Michielsgestel, want in Berlijn werd na 1933 goed genoteerd wat hun in Nederland mishaagde.

De Tweede Wereldoorlog stimuleerde opnieuw het besef dat veel zaken in het onderwijs fundamenteel anders moesten. De *New Education Fellowship* werd de Unesco-instantie op onderwijsgebied. De eerste conferentie van de Verenigde Naties van 1947 in het Britse Cirencester was gewijd aan *The promotion of Peace through Education*. Op het moment dat in 1949 de eerste naoorlogse conferentie van de Nederlandse afdeling plaatsvond, de *Werkgemeenschap voor de Vernieuwing van het Onderwijs* (WVO), met de pedagoog Kees Boeke en de wiskundige Hans Freudenthal als inleiders, hadden de oprichting van de NAVO en de West-Duitse herbewapening dit streven naar vrede al weer overschaduwde. Veel onderwijsmensen hadden geen zin de overheden hierin te volgen: waren twee Wereldoorlogen niet genoeg geweest? Minnaert was dat in ieder geval van mening en hij weerde zich als voorzitter van het *Verbond van Wetenschappelijke Onderzoekers*, dat in 1946 werd opgericht ten behoeve van een constructieve wetenschap. De Nederlandse *Binnenlandse Veiligheidsdienst* hield hem nauwlettend in de gaten, net zoals deze BVD dat een Freudenthal of een Kees Boeke deed.

Minnaert was na 1945 betrokken bij zowel de hervorming van het onderwijs in de wiskunde als dat van natuur- en sterrenkunde. Op 6 oktober 1948 sloeg hij alarm: “Het gebrek aan goede leraren wordt een ramp voor het middelbaar onderwijs en indirect ook voor de universiteit. Om hierin te verhelpen zullen maatregelen van verschillende aard getroffen moeten worden. Onze taak is het te zorgen dat althans de opleiding der aanstaande leraren aan de Universiteit

behoorlijk wordt verzorgd.” Er kwam in Utrecht een periode van permanente zorg, onder Minnaerts hoede, voor de opleiding van de leraren in de natuurwetenschappen. In december 1949 opende hij voor de afdeling-Utrecht van de toenmalige MULO-scholen een tentoonstelling van “apparaatjes waarmee natuurkundeproeven worden uitgevoerd”. De animator was natuurkundeleraar G.H. Frederik die Minnaert had geschreven dat de MULO-verenigingen een lerarenopleiding van twee jaar hadden georganiseerd. Zij hoopten dat die de grondslag kon leggen voor een *‘bevoegdheid’ natuurkunde van onderwijzers*: de cursus besloeg twee jaar van 35 middagen met afwisselend natuurkundepracticum en theorie van biologie en natuurkunde (dia 15, brochure ELLL, 1998). Op 22 december 1950, een historische dag, werd op Minnaerts Sterrenwacht de *Werkgroep-Natuurkundedidactiek* (WND) van de WVO opgericht. De wiskundegroep van het WVO, met aan het hoofd de natuurkundige Greet Smit-Miessen, had daarvoor de tijd rijp geacht. Als eerste studieobject koos de werkgroep ‘doel en functie van het practicum’: slechts zes scholen (sic!) *in het land* bleken over een practicumruimte te beschikken. Het practicum moest verdedigd worden tegen mensen die het zagen als *Spielerei* en tijdverlies. Minnaert was een van de trouwste deelnemers van de *Werkgroep*: “Hij meende het voorzitterschap te moeten weigeren, maar stelde zich als adviseur beschikbaar”, staat er ergens in uw stukken. Minnaert weigerde het voorzitterschap van de *Werkgroep Natuurkunde-Didactiek*, omdat hij bang was dat hij, net als bij zijn voorzitterschap van het *Verbond van Wetenschappelijke Onderzoekers*, als beweerd communist een succesvol optreden van uw *Werkgroep* zou kunnen schaden (dia 16, Vietnamdemonstratie 1967).

De *Werkgroep* was van mening dat natuurkundige begrippen eerst gevoelsmatig moeten groeien: pas gaandeweg moesten ze benoemd en gedefinieerd worden. Dat stond haaks op de leerboeken, die de definities als uitgangspunt namen. Ook propageerde de *Werkgroep* dat het practicum een deel van het eindexamen moest worden. Op een gezamenlijke conferentie met de wiskundewerkgroep van november 1952 over *Algemene Natuurwetenschappen* besprak Minnaert een nieuw curriculum voor de sterrenkunde en behandelden Tatiana Ehrenfest-Afnasjeva en Freudenthal de uitgangspunten voor de meetkunde en de mechanica op school. De natuurkundedidactiekwerkgroep kreeg in de jaren vijftig een basis van honderd actieve leraren en onderwijzers van wie er stevast een dertigtal op de maandelijkse vergaderingen verschenen.

Begin jaren vijftig werd het *Proevenboek* van Frederik en Middeldorp, met het motto ‘door zelf doen tot begrijpen’, populair. Volgens Frederik was de daarin gevolgde werkwijze “geïnspireerd door de idealen van Minnaert: de behandeling vond plaats op basis van zelfgedane experimenten en in de verwerking, de verslagen, moesten de leerlingen aandacht geven aan de verwevenheid van proef en theorie” (dia 17, eigen kinderen Koen en Boudewijn). Door de firma Luctor werden practicumapparaatjes op de markt gebracht in handige opbergdozen. Een statief met grote grondplaat, die Minnaert in 1924 nog had aanbevolen, maakte de opstelling stabiel en overzichtelijk. Frederik werd in die jaren in Utrecht universitair docent ‘didactiek en methodiek van de natuurkunde’. Eind jaren vijftig verschenen proevenboeken die mikten op de bovenbouw van het middelbaar onderwijs zoals de driedelige *Handleiding voor het natuurkundepracticum* van Bulthuis en Gathier, en het populaire *Doen en denken* van Kelder, Steller en Zweers. Daarbij waren twee promovendi van Minnaert, Gathier en Steller, betrokken. Op 28 juni 1963 zat Minnaert voor het laatst de Utrechtse commissie voor de lerarenopleiding van de natuurwetenschappelijke faculteiten voor. Hij constateerde dat vier didactici

van de exacte vakken deel uitmaakten van het Utrechtse *Instituut voor Pedagogie*. Onder hun leiding werden onderwerpen uitgetest die in het voortgezet onderwijs behandeld werden. Het *Fysisch Laboratorium* had een afdeling ‘didactiek’ ingesteld en het aantal studenten dat de leeraarsaantekening wilde behalen steeg explosief. Zijn collega Freudenthal concludeerde dat de centrale rol die Utrecht in de didactiek van het *Voorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs* speelde, was begonnen met wat Minnaert voor de lerarenopleiding in de natuurwetenschappen had weten te bereiken (dia 18, eigen kleinkinderen).

Minnaert schreef en dacht niet slechts over didactiek; hij bracht het zelf in praktijk (dia 19, Minnaertgebouw 1998). Ook in zijn colleges astronomie en zijn *Astronomisch Practicum*, wereldwijd een unicum, op het dak van de Sterrenwacht. Hij was vanaf de oprichting in 1950 een actief lid van de Werkgroep-Natuurkundedidactiek van de Werkgemeenschap voor de Vernieuwing van Opvoeding en Onderwijs. Deze werkgroep was weer de grondlegger van de Woudschotenconferenties (vanaf 1966 tot heden), de jaarlijkse bijeenkomst van natuurkundeleraren.

2. De Natuurkunde van 't Vrije Veld, de Minnaert (dia 20)

In 1917 publiceerde de astronoom Anton Pannekoek *De Wonderbouw der Wereld*, dat “de grondslagen van ons sterrekundig wereldbeeld populair uiteenzet”. Minnaerts leermeester, want dat was Pannekoek in de sterrenkunde echt geweest, illustreerde zijn teksten zelf. In de ‘Inleiding’ schrijft hij dat de sterrenkunde ons “eenvoudige wetten leert kennen die den loop der wereld beheerschen en die in de rijkste veelvuldigheid van bewegingen in het heelal te voorschijn treden”. En over zijn methode: “Ons doel is uit de eenvoudige waarneming der verschijnselen om ons heen trapsgewijs en logisch ons wereldbeeld op te bouwen. (...) Zoo maakt toch het eigen waarnemen de wetenschap tot iets levends, tot een wereld, die wij persoonlijk uit eigen aanschouwing kennen.” Pannekoek publiceerde als het ware *De Sterrenkunde van 't Vrije Veld*. Hij moet Minnaert geïnspireerd hebben bij de conceptie van diens latere *magnum opus*. De toenmalige communist Pannekoek had ook een politiek doel willen dienen (dia 21): “Steeds grotere volksmassa’s stijgen op uit het traditionele geloof van hun vaders tot een wetenschappelijke opvatting van de wereld. Willen zij zich in de tegenwoordige strijd der wereldbeschouwingen goed oriënteren, dan moeten zij zich ook van de werkelijke bouw van het heelal een helder begrip vormen.” De laatste zin heeft Minnaert waarschijnlijk goed tot zich laten doordringen.

In de jaren twintig ging Minnaert systematisch waarnemingen én verklaringen van *fysische* verschijnselen in de vrije natuur verzamelen, catalogiseren en documenteren. Hij had een ontzagwekkende hoeveelheid artikelen doorgenomen en leverde ook zelf oorspronkelijke bijdragen. Een van zijn meest geslaagde is wel *Over het Geluid van plassend Water*, waarover hij alvast meedeelde dat een druppel die in water valt een hoeveelheid lucht meeneemt. Die lucht vormt een belletje dat komt bovendrijven en zorgt voor een toon: “Aan de vereniging van miljoenen dergelijke geluiden is het geluid van plassend water in de natuur toe te schrijven: borrelen der beek, klateren der fontein, ruisen der zee.” Iedereen kent het dagelijkse verschijnsel, maar om het te willen onderzoeken was de onbevangenheid van een Minnaert nodig! Begin jaren dertig had hij voor enkele Volksuniversiteiten een cursus *Natuurkundige Waarnemingen in de Vrije Natuur* verzorgd. Op 16 november 1936 schreef Minnaert uitgeverij Thieme in Zutphen: “Ik heb het handschrift voltooid van een boek waaraan ik verscheidene jaren ge-

werkt heb, getiteld *De Natuurkunde van 't Vrije Veld*, en zou gaarne met Uw firma in overleg willen treden betreffende een eventuele uitgave. De opzet van het werk is geheel oorspronkelijk: het is een verzameling natuurkundige waarnemingen, die zonder instrumenten in open lucht kunnen geschieden. De bedoeling is, te laten zien dat de natuurkundige *even goed als de plant- of dierkundige* vreugde aan de hem omgevende natuur beleven kan, en dat ook de belangstellende leek op dit gebied volop genieten kan. Het boek omvat een duizend bladzijden schrift, met naar schatting 250 woorden per bladzijde. Gemiddeld komt er op elke twee of drie bladzijden een lijncliché. (...) Betreffende honorarium ben ik tot alle inschikkelijkheid bereid. De rechten van vertaling in vreemde talen zou ik mij willen zien voorbehouden.”

Op 18 november 1936, twee dagen later, was er al een principeakkoord, en op 27 december 1936, een maand later, werd het contract getekend waarbij Minnaert zich voorbehold om de Delen II en III elders te doen uitgeven als Thieme hiervan zou afzien. Een jaar later verscheen deel I, *Licht en Kleur in het Landschap*, dat gunstig werd ontvangen. In december 1937 werd besloten tot het drukken van Deel II; *Geluid – Warmte – Elektriciteit*. Eind 1938 volgde een herdruk van Deel I, en werd Deel III, *Rust en Beweging*, in productie genomen. In september 1939 kreeg Minnaert bericht dat er een Poolse vertaling van Deel I was verschenen; op dat moment vielen de Duitsers het land binnen. De vertaling van Deel I in het Engels werd ook in 1939 ter hand genomen. November 1940 verscheen Deel III. Vier jaar koortsachtig werk aan drukproeven en aanvullende of verbeterde experimenten, aan intensieve correspondentie over foto's, opmaak, bijschriften en stofomslag, bij Thieme in Zutphen gearchiveerd, zat er op. In de herdrukken van de jaren veertig worden stevast passages verbeterd, verwijzingen bijgewerkt en suggesties van lezers verwerkt. Daarna verdwijnt dat jammer genoeg. Het boek bleek een commercieel succes. De drie Delen werden tussen 1968 en 1972 nog door Minnaert zelf, en na zijn dood door de fysica Truus van Cittert-Eymers, licht herzien (Dia 23, Minnaert 75 jaar). In de jaren negentig, dus 60 jaar na de conceptie, verschijnt onder meer een eerste, vernieuwde Duitse en Finse uitgave van Deel I, en ook een verbeterde, Amerikaanse herdruk van dit *Licht en Kleur in het Landschap*. In 1996 verscheen bij Thieme in facsimile de heruitgave van het drieluik, van *de hele Minnaert*.

Minnaert begint zijn boek met een citaat uit de *Farbenlehre* van de Duitse dichter en natuuronderzoeker Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832): “We brengen de waarnemer in de open lucht, eer we hem in de beperking van de donkere kamer leiden.” Goethe had net als Minnaert vele jaren geëtaniseerd en getekend voordat hij zich aan de mineralogie, de chemie, de optica, de meteorologie en de literatuur had gewijd. Goethe's fysiologische kleurenleer, die destijds in fysische kringen had afgedaan, beschouwde Minnaert juist als een noodzakelijke aanvulling op de optica van Newton. In zijn doorbraak als zonnefysicus had Minnaert veel profijt gehad van zijn *Fingerspitzengefühl*, dat een verschil in kleur ook verschil zou kunnen maken bij de registratie op de fotografische plaat. Voor Goethe waren kleurverschillen een uitgangspunt geweest bij verschillen in de psychische interpretatie door de menselijke hersenen. Dat de fenomenologische *Naturanschauung* van Goethe ook die van Minnaert was, kan bevorderd zijn door diens studie in de biologie en de dierkunde. Minnaert zou altijd aandacht vragen voor de primaire wereldbeschouwing, de zintuiglijke waarneming van geur, kleur en vorm, dus van kwalitatieve aspecten.

Minnaert schrijft in zijn *Voorwoord* in bewoordingen die aan de Amerikaanse dichter Walt Whitman doen denken: “Wie houdt van de natuur neemt haar verschijnselen waar zoals hij

ademt en leeft; uit een aangeboren diepe drang. Zonneschijn en regen, warmte en koude zijn hem even welkome gelegenheden tot opmerken, hij vindt zijn gading in de stad en in het bos, in de zandvlakte en op de zee. Ieder ogenblik wordt hij getroffen door nieuwe en belangwekkende gebeurtenissen. Met veerkrachtige stap zwerft hij over de wijde landen, oog en oor klaar tot het opnemen van de indrukken die van alle kanten op hem aankomen, diep inadend de geur der lucht, voelend elk temperatuursverschil, met de hand soms strelend een struik langs de weg, om in nauwere aanraking te zijn met de dingen der Aarde. Zo voelt hij zich een mens in levensvolheid. Denk niet dat de oneindig verscheiden stemmingen der natuur voor de wetenschappelijke waarnemer iets van hun dichterlijkheid verliezen: door de gewoonte van het opmerken wordt ons schoonheidsgevoel verfijnd, en rijker gekleurd de stemmingsachtergrond waarop zich de afzonderlijke feiten aftekenen. De samenhang tussen de gebeurtenissen, het verband van oorzaak en gevolg tussen de onderdelen van het landschap, maken een harmonisch geheel van wat anders slechts een aaneenschakeling zou zijn van losse beelden.” De mens merkt niet veel meer op dan de dingen die hij al kent. Daarom moest dit boek *een toverstaf* worden, die de lezer aantikte met het “weten waarop ik letten moet”. *De biologen hadden hun flora’s en fauna’s; de natuurkundigen beschikten nu over een evenknie*. Minnaert (dia 25, op reis in Zuid-Amerika, emeritus) kijkt naar de natuur met het verliefde oog van de veldbioloog. De waarnemingen in de open lucht zijn voor hem tevens een didactische leidraad: “Zij helpen ons in het toenemend streven *om ons onderwijs te doen aansluiten bij het leven*: zij geven ons een natuurlijke aanleiding tot het stellen van duizenden vragen en ze zorgen ervoor, dat hetgeen op school is geleerd later nog telkens en telkens ook buiten de schoolmuren wordt teruggevonden. Aldus wordt de alomtegenwoordigheid der natuurwetten als een steeds weer verrassende en indrukwekkende werkelijkheid ondervonden.” Deze passage maakt duidelijk dat *De Natuurkunde van ‘t Vrije Veld* onlosmakelijk verbonden is met Minnaerts opvattingen over didactiek en het uitdragen van de wetenschap (dia 26, schetsen op reizen). *De Minnaert* is een didactische uiteenzetting van het fysische begrip van de natuur en haar dagelijkse verschijnselen (dia 27, emeritus achter zijn bureau in de Zuijlenstraat).

Op de lezer maakt Minnaerts drieluik een caleidoscopische en impressionistische indruk. Er zijn onderwerpen die langdurig uitlopen, en andere die willekeurig kort worden afgedaan. Voor een onderwerp als ‘olie op zee’ gaan we via Benjamin Franklin naar de geschiedschrijving van de Romein Plinius. In extenso is een verslag opgenomen van een wandeling met zijn buurman Felix Ortt tussen Den Dolder en Huis ter Heide; hij beschrijft dan een windwervel, een ‘dwarrelkringetje’. De grens tussen fysica en geografie overschrijdt hij moeiteloos, die tussen fysica en chemie nauwelijks (dia 28, schaduw van Minnaert zelf). Meetkundige toelichtingen worden afgewisseld door beschrijvingen van wolkenvorming en zonsondergang; luchtige, poëtische verhalen door staccato stukjes; schilderachtige citaten volgen op zakelijk proza; dit alles verleent *de Minnaert* een *onberekenbare* charme. In een lezing uit 1963 bij zijn afscheid als hoogleraar, *De Eenheid van het Heelal*, ontkent hij dat er een fundamenteel verschil is tussen de levenloze natuur én bewuste organismen. Die opvatting is impliciet aanwezig in *De Natuurkunde van ‘t Vrije Veld* en maakt deel uit van de betovering van het boek. De confrontatie van de fysische verschijnselen met hun verbeelding door tientallen schrijvers, dichters en beeldend kunstenaars maakt het drieluik ‘enig’ (dia 29, lichtkunstenaar James Turrell schiep het Minnaertduin in Kijkduin).

Bovenstaande karakteristiek verheldert waarom *de Minnaert* een voortreffelijke en onuitputtelijke inspiratiebron is, maar dat het mijns inziens ondoenlijk is om het hyperindividualistische boek te verbeteren of te vernieuwen (dia 30, schijnbare afbeelding treinwiel bij spoorovergang Bilthoven). U zult zelf nieuwe *Minnaerts* moeten scheppen.